

Mandant



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 42 40 738 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
H01 L 21/331
H 01 L 21/265
H 01 L 29/73

②1 Aktenzeichen: P 42 40 738.9
②2 Anmeldetag: 3. 12. 92
④3 Offenlegungstag: 26. 8. 93

14P 135

DE 42 40 738 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

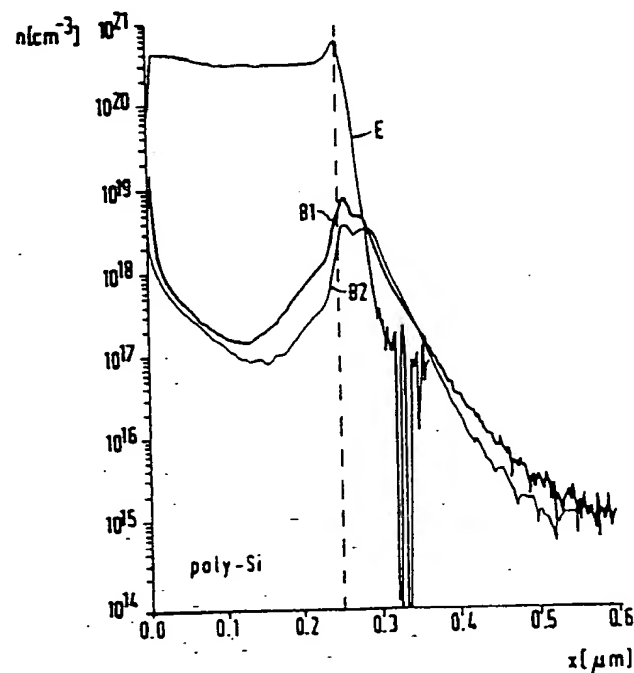
⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 8000 München, DE

⑦2 Erfinder:
Mahnkopf, Reinhard, Dr., 8000 München, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Herstellung eines Bipolartransistors

⑤7 Zur Herstellung eines Bipolartransistors wird in der Oberfläche eines Substrats aus einkristallinem Silizium, in dem ein aktives Gebiet mit mindestens einem Kollektor definiert ist, durch Implantation eine Basis gebildet. Nach der Implantation wird ein Kurzzeit-Temperaturschritt durchgeführt, in dem Dauer und Temperatur so eingestellt werden, daß an der Oberfläche des Substrats durch Entweichen des Dotierstoffes aus dem Substrat eine Dosisreduktion bewirkt wird und daß gleichzeitig die Diffusion des Dotierstoffes im Bereich des ins Substrat hinein abfallenden Profilastes minimiert wird.



DE 42 40 738 A 1

Beschreibung

Viele Schaltungsanwendungen erfordern Bauelemente mit erhöhter Schaltgeschwindigkeit. Dabei sind vor allem Bipolartransistoren von Interesse.

Die Schaltgeschwindigkeit eines Bipolartransistors wird im wesentlichen durch dessen Basisweite bestimmt. Diese hängt bei vorgegebenem Basis-Pinchwiderstand von der Steilheit des Dotierstoffprofils ab. Unter Basis-Pinchwiderstand versteht man den reinen Schichtwiderstand der aktiven Basis. Ein üblicher Wert für den Basis-Pinchwiderstand in heutigen Technologien ist 10 Kilo-ohm/Square.

Um diesen Wert bei einer Basisweite im Bereich 50 bis 100 nm einzustellen, ist am Emitter-Basis-pn-Übergang eine Dotierstoffkonzentration von 10^{18} bis 10^{19} cm^{-3} Bor erforderlich.

Die Basis eines Bipolartransistors wird im allgemeinen durch Ionenimplantation eingebracht. Zur Erzeugung einer geringen Basisweite mit hoher Profilsteilheit ist bei der Implantation eine niedrige Implantationsenergie erforderlich.

Bei Implantation werden im Silizium Implantationsschäden erzeugt. Diese Implantationsschäden führen bei nachfolgenden Prozessschritten beim Auftreten höherer Temperaturen zu einer transienten Diffusion des Dotierstoffes. Damit verbunden ist eine starke Abnahme der Profilsteilheit. Das durch die niederenergetische Implantation erzeugte steile Profil für die Basis läuft dabei auseinander.

Wegen der von der Implantationsenergie abhängigen Reichweite des Dotierstoffes weist ein bei niedriger Implantationsenergie implantiertes Dotierstoffprofil ein Dotierstoffmaximum in der Nähe der Siliziumoberfläche auf. Bei der Herstellung eines Bipolartransistors mit geringer Basisweite weist das Dotierstoffmaximum eine hohe Dotierstoffkonzentration im Bereich über 10^{19} cm^{-3} auf. Diese hohe Maximalkonzentration an der Oberfläche des Siliziumsubstrats führt in einem Bipolartransistor zu einer geringen Emitter-/Basis-Durchbruchsspannung. Dieses wiederum führt zu einer Reduktion der Lebensdauer, die bei Transistoren höchster Performance nicht tragbar ist.

Dieses Problem hat bisher die erzielbare Lebensdauer von Bipolartransistoren mit flachen Emitter-/Basisprofilen, womit hohe Grenzfrequenzen realisiert werden, begrenzt. Bipolartransistoren, die unter Verwendung einer höheren Implantationsenergie bei der Bildung der Basis hergestellt werden, zeigen zwar eine höhere Lebensdauer, sind jedoch in ihren Hochfrequenz-Eigenschaften deutlich schlechter.

Der Erfindung liegt daher das Problem zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Bipolartransistors anzugeben, mit dem Bipolartransistoren für hohe Grenzfrequenzen herstellbar sind, die eine verlängerte Lebensdauer zeigen.

Dieses Problem wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1. In dem Verfahren wird unmittelbar nach der Implantation der Basis ein Kurzzeit-Temperaturschritt durchgeführt, in dem die Dauer und die Temperatur so eingestellt werden, daß an der Oberfläche des Substrats durch Entweichen des Dotierstoffes aus dem Substrat eine Dosis-Reduktion bewirkt wird. Gleichzeitig wird die Eindringtiefe des Dotierstoffes im Bereich des abfallenden Profilstes minimiert.

Die Erfindung macht sie dabei die Beobachtung zu nutze, daß in einem Kurzzeittemperaturschritt Dotierstoff im Bereich der Oberfläche des Siliziumsubstrats

entweicht. Es kommt dadurch zu einer starken Dosisreduktion in diesem Bereich, die zu einer deutlichen Erhöhung der Emitter/Basis-Durchbruchsspannung führt. Dadurch wird eine höhere Lebensdauer des Bipolartransistors erzielt.

Darüberhinaus wurde beobachtet, daß die durch Störstellen bedingte transiente Diffusion von Dotierstoff, die insbesondere bei Niederenergieimplantationen beobachtet wird, durch Einsatz eines Kurzzeit-Temperaturschrittes reduziert werden kann. Für eine vorgegebene Ausheilzeit läßt sich eine Temperatur finden, bei der durch das Ausheilen der Implantationsschäden die transiente Diffusion reduziert wird, ohne daß eine nennenswerte normale Diffusion stattfindet. Für diese Temperatur erreicht die Basisweite des Bipolartransistors ein Minimum.

Vorzugsweise wird der Kurzzeit-Temperaturschritt bei einer Temperatur im Bereich zwischen 900°C und 1000°C und während einer Dauer im Bereich zwischen 5 und 20 Sekunden durchgeführt. Die konkreten Parameter für Temperatur und Zeit werden dabei den übrigen Anforderungen des Herstellprozesses angepaßt.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, die Oberfläche des Substrats vor der Implantation zur Bildung der Basis mit einer Streuschicht zu versehen, die erst nach dem Kurzzeit-Temperaturschritt wieder entfernt wird. Auch durch eine solche Streuschicht, die insbesondere aus SiO_2 gebildet wird, hindurch kommt es zu einem Entweichen des Dotierstoffes aus dem Konzentrationsmaximum in dem Substrat.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den übrigen Ansprüchen hervor.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Figuren und eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Fig. 1 zeigt die Basisweite in Abhängigkeit von der Temperatur des Ausheilschrittes bei vorgegebener konstanter Dauer des Ausheilschrittes, wobei sowohl Basisweite als auch Temperatur normiert sind.

Fig. 2 zeigt SIMS-Analysen des Emitter-/Basis-Profils mit und ohne den erfindungsgemäßen Kurzzeit-Temperaturschritt.

Fig. 3 zeigt einen Bipolartransistor, der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt ist.

In Fig. 1 ist die Basisweite eines Bipolartransistors als Funktion der Temperatur des Kurzzeitausheilschrittes aufgetragen, wobei eine konstante Ausheilzeit von z. B. 10 sec. angenommen wurde. Die Basisweite W_B ist normiert auf die Basisweite W_{B0} aufgetragen, die ohne Temperaturschritt erzielt wird. Es hat sich gezeigt, daß für Ausheilzeiten im technisch relevanten Bereich die Basisweite als Funktion der Temperatur T , die normiert auf einer Maximaltemperatur T_{max} aufgetragen wird, ein Minimum zeigt. Dieses Minimum wird damit in Verbindung gebracht, daß durch Ausheilen der Implantationsschäden die transiente Diffusion, die mit Implantationsschäden in Verbindung gebracht wird, reduziert wird und daß andererseits aufgrund des thermischen Budgets noch keine nennenswerte normale Diffusion stattfindet.

In Fig. 2 sind SIMS-Analysen des Emitter- und Basis-Profils eines Bipolartransistors dargestellt. Mit B1 ist das Basisprofil eines Bipolartransistors bezeichnet, der ohne den erfindungsgemäßen Kurzzeit-Temperaturschritt hergestellt wurde. Mit B2 ist das Basisprofil eines Bipolartransistors bezeichnet, der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren mit einem Kurzzeit-Temperaturschritt hergestellt wurde. Mit E ist das Profil des Emitters mit oder ohne Kurzzeittemperaturschritt bezeichnet.

net. Der Emitter wird aus entsprechend dotiertem Polysilizium ausdiffundiert, das erst nach dem erfindungsgemäßen Kurzzeit-Temperaturschritt abgeschieden wird. Da der Emitter erst nach der Herstellung der Basis gebildet wird, ist der Verlauf des Emitterprofils E weitgehend unabhängig von dem erfindungsgemäßen Kurzzeit-Temperaturschritt. Die Grenzfläche Polysilizium-Silizium ist in Fig. 2 als gestrichelte Linie eingezeichnet.

Der Vergleich der Kurven B1 und B2 zeigt, daß durch den Kurzzeit-Temperaturschritt die Dotierstoffkonzentration n insgesamt abnimmt. In oberflächennahen Bereichen, bis zu einer Tiefe von etwa 50 nm, entweicht Dotierstoff aus dem Substrat. Da die Oberfläche zur Zeit des Kurzzeit-Temperaturschrittes die gestrichelte Linie ist, entspricht diese Tiefe in Fig. 2 einem x von 0,25–0,30 μm . Dadurch wird das Dotierstoffmaximum, das die Kurve B1 bei einer Tiefe von 0,01 μm zeigt, und das für die ungenügenden Emitter-/Basis-Durchbruchspannungen verantwortlich ist, deutlich reduziert. Die Dotierstoffkonzentration n nimmt in diesem Bereich um einen Faktor von etwa 2 ab. Damit ist eine drastische Erhöhung der Lebensdauer des Bipolartransistors um viele Größenordnungen (Zehnerpotenzen) verbunden.

Bei Tiefen x über etwa 0,3 μm zeigt das Profil B2 im Vergleich zu dem Profil B1 einen steileren Abfall. Dieser wird damit in Verbindung gebracht, daß durch das Kurzeitauseilen die transiente Diffusion reduziert wird. In dem Profil B1, das ohne Kurzzeit-Temperaturschritt gebildet wurde, ist die Steilheit oberhalb einer Tiefe x von 0,3 μm durch die transiente Diffusion begrenzt.

Zur Herstellung eines Bipolartransistors nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird in ein Substrat 1 aus einkristallinem Silizium, an dessen Oberfläche eine vergrabene Schicht 13, die z. B. durch Implantation hergestellt wurde und die im fertigen Bipolartransistor zum Kollektoranschluß erforderlich ist, und eine n -leitende epitaktische Schicht 2 angeordnet sind, zur Bildung der Basis z. B. Bor mit einer Dosis von $6 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ und einer Energie von 3,4 keV implantiert. Alternativ kann die Implantation der Basis durch BF_2 mit einer Energie von 15 keV und gleicher Dosis gebildet werden. Zur gleichen Zeit wird eine Podest-Implantation durchgeführt, die die Bor-Basis "abschneidet" und einen Kollektorbereich 21 des aktiven Bipolartransistors bildet. Nach der Implantation zur Bildung der Basis 3 wird ein Kurzzeit-Temperaturschritt mit einer Temperatur z. B. im Bereich zwischen 900°C und 1000°C durchgeführt. Der Kurzzeit-Temperaturschritt wird mit einer Dauer von z. B. 5 bis 20 Sekunden durchgeführt.

Die Basis 3 wird durch einen Basisanschlußbereich 4 seitlich kontaktiert, der die Basis 3 ringförmig umgibt. Der Basisanschlußbereich 4 wird z. B. durch Ausdiffusion aus einem an der Oberfläche des Substrats angeordneten Basisanschluß 5, der aus entsprechend dotiertem Polysilizium gebildet ist, hergestellt. Der Basisanschluß 5 wird vollständig mit einer Isolationsstruktur 6 abgedeckt. Zur Bildung eines Emitters 7 wird z. B. ein Emitteranschluß 8 aus entsprechend dotiertem Polysilizium aufgebracht. Der Emitter 7 wird durch Ausdiffusion aus dem Emitteranschluß 8 gebildet.

Der Kollektor 21 des Transistors wird über die vergrabene Schicht 13, einen mittels Implantation dotierten Kollektoranschlußbereich 10, der durch eine Isolationsstruktur 11 seitlich vom Basisanschlußbereich 4 isoliert ist, und über einen Kollektoranschluß 12 aus entsprechend dotiertem Polysilizium von der Oberfläche her kontaktiert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bipolartransistors,

– bei dem in der Oberfläche eines Substrats aus einkristallinem Silizium, in dem ein aktives Gebiet mit mindestens einem Kollektor definiert ist, eine Basis durch Implantation gebildet wird,

– bei dem nach der Implantation ein Kurzzeit-Temperaturschritt durchgeführt wird, in dem Dauer und Temperatur so eingestellt werden, daß an der Oberfläche des Substrats durch Entweichen des Dotierstoffs aus dem Substrat eine Dosisreduktion bewirkt wird und daß gleichzeitig die Diffusion des Dotierstoffes minimiert wird,

– bei dem an der Oberfläche der Basis ein Emitter gebildet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Basis durch Implantation von Bor oder BF_2 mit einer Energie unter 15 keV gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Kurzzeit-Temperaturschritt im Temperaturbereich zwischen 900°C und 1000°C und während einer Dauer zwischen 5 und 20 Sekunden durchgeführt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Oberfläche des Substrats vor der Implantation zur Bildung der Basis mit einer Streuschicht versehen wird, die nach dem Kurzzeit-Temperaturschritt und vor der Bildung des Emitters entfernt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Streuschicht aus SiO_2 gebildet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem der Emitter durch Ausdiffusion aus einem Basisanschluß aus entsprechend dotiertem Polysilizium gebildet wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

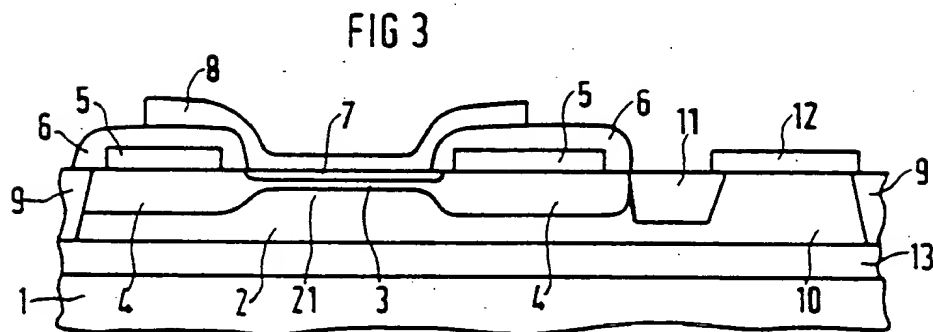
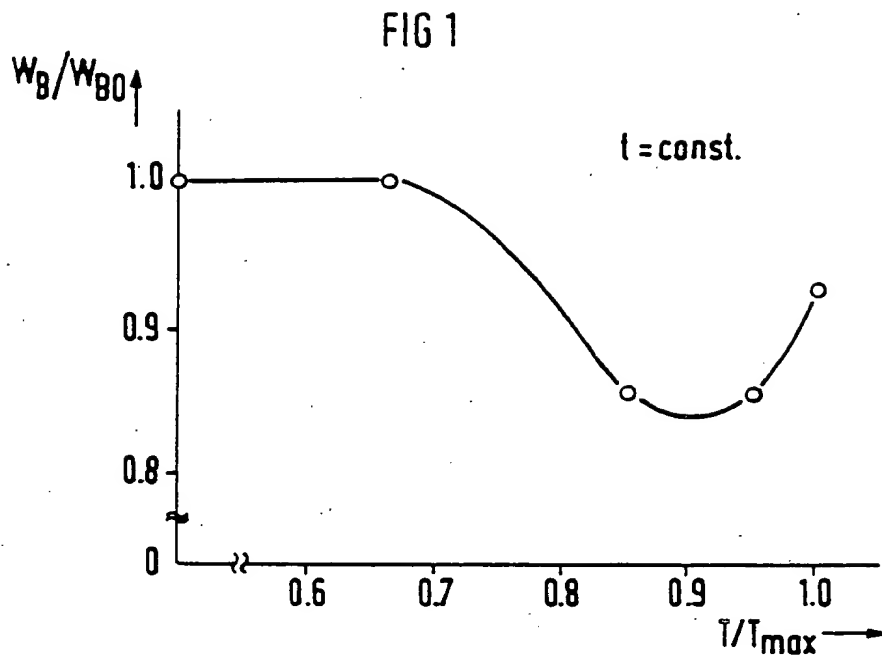


FIG 2

